

**EISENGUSSWERKSTOFF**

Die Erfindung betrifft einen Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit, der insbesondere zum Herstellen von Bremsscheiben, Motorblöcken leichter und schwerer Bauart sowie von Zylinderköpfen geeignet ist.

Aufgrund seiner guter Zerspanbarkeit und sehr günstiger Gießeigenschaften bei geringem Risiko für das Auftreten verdeckter Fehler ist Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) ein beliebter Konstruktionswerkstoff. Daher werden aus Eisengusswerkstoffen der in Rede stehenden Art typischerweise Blöcke für Verbrennungsmotoren gegossen.

Die bereits heute an die Zugfestigkeit des Werkstoffes gestellten Anforderungen haben allerdings die Grenzen der problemlosen Anwendbarkeit von herkömmlichem Grauguss erreicht. Dies ist darin begründet, dass einerseits gesteigerte Leistungen, z.B. beim Guss von Verbrennungsmotoren, gefordert werden und andererseits der Leichtbau ein zentrales Ziel moderner Gusskonstruktionen ist. Erschwerend kommt hinzu, dass von den Anwendern nicht nur höhere Zugfestigkeit von in der Regel mehr als 300 MPa, sondern auch eine Optimierung anderer Eigenschaften, wie z.B. hohe Wärmeleitfähigkeit, hoher Widerstand gegen thermomechanische Ermüdung und hohe Beständigkeit gegen Reib- und Gleitverschleiß, gefordert werden. Darüber hinaus unterliegt die Qualität des Gussergebnisses strengen Prüfungen.

Die Forderungen bezüglich hoher Zugfestigkeiten können durch Verringerung des Kohlenstoff- und Siliziumgehaltes bzw. des Sättigungsgrades sowie durch Legieren von Cr, Cu, Ni, Mn oder Mo bis zu einem Gesamtgehalt der zulegierten Elemente von bis zu etwa 2 % grundsätzlich erfüllt werden. Auch der Widerstand gegen die thermomechanische Ermüdung lässt sich auf diese Weise hinreichend hoch einstellen.

Allerdings führen die genannten Maßnahmen zu einer erheblichen Verminderung der Gießbarkeit und des Eigenspeisungsvermögens des verarbeiteten Eisengusswerkstoffs. Das Risiko der Entstehung verdeckter Fehler und teilcarbidischer Erstarrung (Kantenhärte) steigt. Gleichzeitig wird die Zerspanbarkeit des Werkstoffs erheblich verschlechtert. Daher müssen bei einer industriellen Produktion für die mit den genannten Maßnahmen erzielte Steigerung der Zugfestigkeit und des Widerstands gegen thermomechanische Ermüdung Ausschussraten von bis zu 30 % in Kauf genommen werden.

Die Forderung nach einer hohen Wärmeleitfähigkeit ist durch die Herabsetzung des Kohlenstoff- und Siliziumgehaltes bzw. des Sättigungsgrades oder ein Legieren mit bestimmten Legierungselementen jedoch keineswegs zu erfüllen, da die Wärmeleitfähigkeit von Grauguss bekanntermaßen eine Funktion der im Guss enthaltenen Graphitmenge ist und mit kleiner werdenden Graphitmengen abnimmt. Auch die zulegierten Elemente führen grundsätzlich zu einem Absinken der Wärmeleitfähigkeit.

Letzteres macht sich insbesondere bemerkbar, wenn aus einem entsprechend legierten, relativ hohe Festigkeiten aufweisenden Werkstoff leistungsfähige Bremsscheiben gegossen werden sollen.

Das Legieren mit carbidbildenden Elementen wie Cr und Mo führt aufgrund des Seigerungsverhaltens dieser Elemente selbst dann zu einer Bildung von unerwünschten komplexen Carbiden, wenn es innerhalb theoretischer Grenzen für die Löslichkeit dieser Elemente geschieht (Daumenregel: Atomradius des jeweiligen Elements  $< 1,15 \times$  Atomradius Fe). Dies hat neben der Tatsache, dass es sich bei diesen Carbiden um "Abfallprodukte" mit negativen Auswirkungen auf die Zerspanbarkeit handelt, den grundsätzlichen Nachteil, dass es dann, wenn im Gießbetrieb anfallendes Gussmaterial im Kreislauf wieder verwendet wird, zu einer Steigerung der Entropie im Gesamtsystem des Kreislaufs kommt.

Beim Wiederverwenden des im Kreislauf wieder eingesetzten Materials werden nämlich die Carbide in der Regel nicht vollständig zerstört. Stattdessen bleiben sie als so genannte Cluster erhalten, die beim Erstarren wieder Carbide bilden. In Folge des erneuten Legierens mit der jeweils vorgeschriebenen Menge an Chrom und Molybdän werden dann wieder neue Carbide gebildet. Im Ergebnis führt dieser Prozess der Anreicherung des verarbeiteten Gusswerkstoffs mit Carbiden zur langsamen, jedoch unvermeidlichen Zunahme an nicht nutzbarem Chrom und Molybdän, welche in einem schleichend eintretenden Verfall der Eigenschaften des Gusswerkstoffs mündet. Infolgedessen, dass die geseigerten Elemente die Temperaturlage des eutektischen Gleichgewichts im System Fe-C-X unterschiedlich beeinflussen und die in der Schmelze ebenfalls vorhandenen, inaktiven nichtmetallischen Phasen ebenfalls dem Prozess der schleichenden Zunahme unterworfen sind, kann es im Extremfall im Gussbetrieb zu dem als "umgekehrten Hartguss" gefürchteten Gießfehler kommen.

Neben dem voranstehend erläuterten Stand der Technik ist aus der EP 1 213 071 A2 ein Eisengusswerkstoff für die Herstellung von Nockenwellen bekannt, der (in Gew.-%) 3,5 - 3,7 % C, 0,9 - 1,1 % Si, bis zu 1 % Mn sowie nicht an Schwefel gebundenes Lanthan mit einem Anteil von 0,02 - 0,05 % aufweist und wahlweise 0,3 - 0,6 % Cr, 0,1 - 1,0 % Cu, 0,3 - 0,6 % Mo und 0,02 - 0,05 % Ti enthalten kann. Die Zugabe an Lanthan zu dem bekannten Werkstoff erfolgte dabei mit dem Ziel, die Härte des Werkstoffs zu steigern und eine das tribologische Verhalten verbessernde Kornfeinung zu bewirken. Im Einzelnen erläutert worden sind die Eigenschaften einer solcherart zusammengesetzten Legierung in der EP 1 213 071 A2 anhand eines Ausführungsbeispiels, das (in Gew.-%) 3,69 % C, 0,95 % Si, 0,05 % La, 0,029 % S, 0,0035 % O, 0,29 % Mn, 0,5 % Cr, 0,2 % Cu, 0,51 % Mo und 0,022 % Ti aufwies.

Ein weiteres Beispiel für einen Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit ist aus der EP 1 004 789 A1 bekannt. Dieser Werkstoff wird zur Herstellung von Bremsscheiben eingesetzt, die sich durch eine erhöhte Standzeit auszeichnen. Zu diesem Zweck sind im aus der EP 1 004 789 A1 bekannten Gusswerkstoff in Gew.-% 3,9 - 4,2 % C, 0,7 - 1,2 % Si, bis zu 0,02 % P, bis zu 0,02 % S und bis zu 0,05 % Al enthalten. Zusätzlich können in dem bekannten Werkstoff Gehalte an Mn, V, Cu und Cr enthalten sein, wobei der gesamte Anteil dieser Legierungselemente 1,6 % nicht überschreiten soll. Eine aus einem solchen Werkstoff hergestellte Bremsscheibe zeichnet sich durch eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit bei gleichzeitig guter Zähigkeit aus. Konkret erprobt worden ist die bekannte Legierung anhand eines Ausführungsbeispiels, das (in Gew.-%) 4,1 % C, 1,0 % Si, 0,02 % P, 0,03 % S, 0,3 % Mn, 0,01 % V, 0,4 % Cu, 0,3 % Mo und 0,015 % Al enthielt.

Ausgehend von dem voranstehend erläuterten Stand der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein Legierungskonzept zu schaffen, das es auf einfache Weise ermöglicht, für eine weite Produktpalette durch Variation der Gehalte an den jeweiligen Legierungsbestandteilen die jeweils optimalen Eigenschaften einzustellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit gelöst, der folgende Zusammensetzung aufweist (in Gew.-%):

C: 3,4 - 4,1 %,  
Si: 0,9 - 1,4 %,  
Mn: 0,4 - 0,7 %,  
Cu: 0,4 - 0,6 %,  
S: 0,01 - 0,04 %,  
O<sub>2</sub>: 0,003 - 0,007 %,  
P: ≤ 0,04 %,

Rest aus Fe und unvermeidbare Verunreinigungen,

wobei die Zusammensetzung zusätzlich wahlweise eines oder mehrere der folgenden Elemente enthalten kann:

Mo: 0,15 - 0,45 %,  
La: 0,005 - 0,02 %,  
Sr: 0,0005 - 0,01 %,  
V: 0,005 - 0,1 %,  
Ni: 0,05 - 0,8 %,  
Sn: 0,05 - 0,15 %,  
N: 0,05 - 0,08 %

und für den Sättigungsgrad  $S_c = C\%/4,26 - 0,3 \cdot (Si\% + P\%)$

(C%: jeweiliger C-Gehalt, Si%: jeweiliger Si-Gehalt,

P%: jeweiliger P-Gehalt) gilt  $0,85 \% \leq S_c \leq 1,05 \%$

sowie für die jeweilige Menge  $\% \text{MEG} = 2,25 \% - 0,2 \text{ Si}\%$   
( $\text{Si}\%$ : jeweiliger Si-Gehalt) gilt  $1,97 \% \leq \text{MEG} \leq 2,07 \%$ .

Die Erfindung stellt eine Fe-C-Si-X-Gusslegierung zur Verfügung, die insbesondere eine sowohl hinsichtlich ihrer Festigkeit als auch hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit und Vergießbarkeit optimierte Eigenschaftskombination besitzt und bei der das Risiko einer im praktischen Gießbetrieb eintretenden schleichenden Abnahme der guten Eigenschaften auf ein Minimum reduziert ist.

Erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff ist weitestgehend frei von unerwünschten bzw. unbenötigten Elementen und Nebenprodukten. So sind die Schwefel- und Sauerstoffgehalte derart bemessen, dass sie keinen störenden Einfluss auf die Eigenschaften des Eisenwerkstoffs mehr haben. Dadurch wird erreicht, dass das Eisengitter gereinigt ist und hinreichend freie Kapazität zur Aufnahme von benötigten Fremdatomen enthält. Gleichzeitig sind Mindestgehalte an Sauerstoff und Schwefel vorgeschrieben, weil beide Elemente als Bausteine für die Bildung von Kristallisationskeimen dienen.

Indem die erfindungsgemäß vorgegebenen Abstimmungsregeln für den Sättigungsgrad und die Menge an eutektischem Graphit eingehalten werden, sind die Gehalte an Kohlenstoff und Silizium so bemessen, dass selbst bei einer vergleichsweise weiten Variierung des Sättigungsgrades  $S_c$  die eutektische Graphitmenge MEG hoch bleibt.

Die bei erfindungsgemäßem Gusswerkstoff vorhandene Menge des eutektischen Graphits MEG übertrifft die von normalem Gusseisen weit. Dessen MEG-Wert beträgt üblicherweise nur rund 1.85 Gew.-%. Bei erfindungsgemäßem Gusswerkstoff steht

somit ein um 10 % bis 20 % höherer Volumenanteil zur Verfügung. In diesem Überschuss ist ein entscheidender Vorteil des erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoffs gegenüber konventionellem Eisenwerkstoff begründet. So weist erfindungsgemäßer Werkstoff ein deutlich überlegenes Eigenspeisungsvermögens zum Zwecke des Ausgleichs der Schrumpfung des Eisens durch Ausdehnung des Graphits gegenüber konventionellem Gusswerkstoff auf. Diese Eigenschaft führt im praktischen Gießbetrieb zu einer deutlichen Steigerung der Zuverlässigkeit, mit der qualitativ hochwertige Gießprodukte erzeugt werden.

Bei der Erzeugung eines erfindungsgemäßen Gusswerkstoffs soll sich die reduzierende Schmelzbehandlung durch Impfen streng nach dem jeweiligen Niveau der Gehalte an Sauerstoff und / oder Schwefel richten.

Als Legierungselemente sieht die Erfindung Elemente vor, deren Atomradius sich von demjenigen des Eisens nicht allzu stark unterscheidet. Bevorzugt beträgt die Abweichung bis max. 2 %. Die Legierungselemente sollen keine starken Carbiddbildner sein und nicht direkt seigern.

Erfindungsgemäß wird ist es daher vorgesehen, dem Eisenwerkstoff zur Einstellung seiner jeweils geforderten Eigenschaften erforderlichenfalls Kupfer, Nickel, Mangan oder Molybdän zuzulegieren. Auch kann zu diesem Zweck Zinn zugegeben werden, dessen Atomradius um bis zu 50 % größer ist als derjenige des Eisens.

Demgemäß enthält erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff Kupfer in Mengen von 0,4 Gew.-% bis 0,6 Gew.-%, um die Bildung des Perlits ohne negative Auswirkungen auf die gewünscht hohe Graphitisierung zu fördern. Ein weiterer positiver Effekt der Anwesenheit von Cu besteht darin, dass

an diesem Element Seigerungsrichtungen ausgebildet werden. Bei der Herstellung von leichteren Gussstücken, wie Leichtbaumotorblöcken, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Bereich der Gehalte an Cu auf 0,45 - 0,55 eingegrenzt wird, um diese Effekte zu erzielen.

Ergänzend kann die erfindungsgemäße Legierung auch Nickel in Gehalten von 0,05 - 0,8 Gew.-%, bevorzugt 0,05 - 0,7 Gew.-%, enthalten. In Kombination mit Ni oder alleine können auch Gehalte an Stickstoff von 0,05 - 0,08 Gew.-% vorgesehen werden. Beide Legierungselemente stellen sicher, dass hohe Festigkeiten des fertigen Gussteils auch bei teilweisem Perlitzerfall erhalten werden. Daher sind Ni und N im erfindungsgemäßen Eisenwerkstoff in Kombination oder einzeln bevorzugt insbesondere dann vorhanden, wenn Gussteile erzeugt werden, die aufgrund ihrer Formgebung oder Masse langsam abkühlen mit der Gefahr, dass es zum Zerfall des Perlits kommt. Die Regel sollte dabei sein, dass die Gehalte an Ni und / oder N höher sind, je größer der Modul des jeweiligen Gussteils.

Mit dem Fachbegriff "Modul" ist hier das Verhältnis des Gussteil-Volumens zur wärmeabgebenden Fläche bezeichnet, für das als Maßeinheit üblicherweise "cm" verwendet wird.

Gehalte an Mn im Bereich von 0,4 Gew.-% bis 0,7 Gew.-% unterstützen ebenfalls die Perlitbildung. Auch Mangan wird jedoch insbesondere zugegeben, um Seigerungsrichtungen an Mangan auszubilden. Für die Herstellung leichterer, schneller abkühlender Gusstücke können die Mn-Gehalte auf den Bereich von 0,45 - 0,65 Gew.-% beschränkt werden, um diesen Effekt zu erreichen.



Der maximale Gehalt an Phosphor wird auf 0,04 Gew.-% beschränkt, um die Bildung von Phosphideutektikum zu minimieren, das der Zähigkeit des Werkstoff abträglich wäre. Auch der Gehalt an Schwefel ist zur Vermeidung von Sulfidbildungen aus diesem Grund auf ein Maximum von 0,04 Gew.-% beschränkt. Im Fall der Anwesenheit von Cer dienen die gemäß der Erfindung vorgesehenen Gehalte von mindestens 0,01 Gew.-% der Keimbildung, die zu feinst verteilten Oxisulfiden führt. Als Regel kann angesetzt werden, dass bei Anwesenheit von Ce der Ce-Gehalt umso höher eingestellt werden sollte, je höher der jeweilige S-Gehalt ist. Die durch Cer in Verbindung mit Schwefel gebildeten Oxisulfide fördern die Graphitbildung und bewirken eine Steigerung der Festigkeit und Härte des Werkstoffs ohne die Zähigkeit des Werkstoffs herabzusetzen.

Mo kann dem erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff in Gehalten von 0,15 Gew.-% bis 0,45 Gew.-% beigegeben werden, um bei thermischer Beanspruchung durch Diffusion aus dem Eisengitter Versetzungsbewegungen zu blockieren und dadurch die Einleitung der Rissbildung zu verhindern. Die Sicherheit, mit der die durch die Zugabe von Mo sich einstellenden Eigenschaften des erfindungsgemäßen Werkstoffs erreicht werden, lässt sich dabei dadurch steigern, dass die Obergrenze des Mo-Gehalts auf 0,35 Gew.-% beschränkt bzw. die Untergrenze auf 0,2 Gew.-% angehoben wird.

Zinn-Gehalte, die 0,05 Gew.-% bis 0,15 Gew.-% betragen, führen bei längerer Verweilzeit des Gussstücks in der Form zur Bildung einer Mikroseigerungszone um die Graphitlamellen herum und verhindern die Diffusion des Kohlenstoffs aus dem Graphit in die Grundmatrix.

Die Zugabe von Strontium begünstigt die Keimbildung und Ausprägung eines im Hinblick auf die angestrebten Eigenschaften günstigen Gefüges. Um diesen Zweck sicher zu erreichen, sind mindestens 0,0005 Gew.-% Sr erforderlich. Bei Gehalten von mehr als 0,01 Gew.-% lässt sich dagegen keine positive Wirkung mehr feststellen. Insbesondere bei größeren Gussstücken, bei denen die Festigkeit von besonderer Bedeutung ist, stellt sich eine besonders positive Wirkung ein, wenn Sr in Gehalten von 0,0005 bis 0,002 Gew.-% anwesend ist.

Gehalte an Lanthan im Bereich von 0,005 - 0,02 Gew.-% wirken sich günstig auf die Vergießbarkeit der erfindungsgemäßen Gusslegierung aus und fördern die Härte des Werkstoffs sowie dessen tribologisches Verhalten, indem sie eine Kornfeinung bewirken.

Vanadium wird der erfindungsgemäßen Legierung erforderlichenfalls zugegeben, um die Härte und Zugfestigkeit des Werkstoffs zu steigern. Vanadium legiert den Zementit des Perlits und führt zur Bildung von kürzeren, abgerundeten Lamellen des Lamellengraphits mit der Folge, dass die Härte und Zähigkeit ansteigen. Sofern zu diesem Zweck Vanadium einer erfindungsgemäßen Legierung zugegeben wird, kann dies in Abhängigkeit vom Modul des jeweiligen Bauelements erfolgen, um den gewünschten Erfolg sicher zu erreichen. Der Gehalt an V sollte dabei mit zunehmender Dicke ansteigen. So haben praktische Erprobungen gezeigt, dass sich optimale Gussteileigenschaften einstellen, wenn bei einem Modul des jeweiligen Gussteils von 0,25 - 0,65 cm der V-Gehalt 0,025 - 0,035 Gew.-%, bei einem Modul von 0,65 - 1,2 cm der V-Gehalt >0,035 - 0,065 Gew.-% und bei einem oberhalb von 1,2 cm liegenden Modul der V-Gehalt mehr als 0,055 - 0,1

Gew.-% beträgt. Bei erfindungsgemäßem Gehalten von mehr als 0,1 Gew.-% ist die Löslichkeitsgrenze überschritten.

Eine insbesondere für die Herstellung von Bremscheiben geeignete Variante der erfindungsgemäßen Legierung ist dadurch gekennzeichnet, dass ihre Kohlenstoffgehalte im Bereich von 3,8 - 4,1 Gew.-% liegen. Der relativ hohe Kohlenstoffgehalt führt Festigkeiten, die im Bereich von 150 bis 200 MPa liegen. Gleichzeitig weisen aus der derart zusammengesetzten Legierungen erzeugte Gussstücke eine hohe Wärmeleitfähigkeit bei gleichfalls hoher Zähigkeit auf. Der Silizium-Gehalt liegt zum selben Zweck bevorzugt im Bereich von 0,9 - 1,2 Gew.-%.

Für das Gießen von Gussteilen, bei denen eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig guter Wärmeleitfähigkeit im Vordergrund steht, sieht eine andere Variante der Erfindung vor, dass der C-Gehalt im Bereich von 3,4 - 3,8 Gew.-%, insbesondere 3,4 - 3,6 Gew.-% liegt.

Versuche haben gezeigt, dass derart zusammengesetzter erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff hohe Zugfestigkeiten aufweist, die im vergossenen Zustand regelmäßig mehr als 300 MPa betragen.

Beim Gießen dickwandigerer Gussteile ist darüber hinaus vorteilhaft, wenn der Si-Gehalt der Legierung 1,15 - 1,4 Gew.-%, insbesondere 1,2 - 1,4 Gew.-%, beträgt, um beim Gießen der Gefahr einer Reoxidation bei verminderten C-Gehalten zu begegnen.

Besondere Bedeutung kommt den Sauerstoffgehalten einer erfindungsgemäßen Eisengusslegierung zu. Über den O<sub>2</sub>-Gehalt werden Geschwindigkeit und Umfang der Keimbildung

gesteuert. So führt eine Erhöhung des Sauerstoffgehalts zu einem schnellen Teilchenwachstum, während niedrigere Sauerstoffgehalte ein geringeres Wachstum zur Folge haben. Erreicht werden diese Effekte bei O<sub>2</sub>-Gehalten, die im Bereich von 30 bis 70 ppm liegen. Werden aus der erfindungsgemäßen Legierung Bremsscheiben oder vergleichbar gestaltete Bauelemente hergestellt, so lassen sich über den Sauerstoffgehalt dadurch optimale Gefüge erreichen, dass die Sauerstoffgehalte auf 30 bis 40 ppm beschränkt werden. Bei dünnwandigen Gussteilen, wie leichten Motorblöcken oder ähnlichem mit einem Modul von 0,1 bis 0,4 cm, haben sich hohe O<sub>2</sub>-Gehalte von 50 bis 70 ppm als günstig herausgestellt, da sie innerhalb der jeweils kurzen Abkühlzeit ein schnelles Kornwachstum begünstigen. Bei dickwandigeren Bauteilen mit Modulen im Bereich von 0,4 - 1 cm, beispielsweise schwereren Motorblöcken, werden optimierte Gefügeeigenschaften erreicht, wenn der O<sub>2</sub>-Gehalt 40 bis 60 ppm beträgt. Beim Gießen von komplex geformten Gussteilen, wie Zylinderköpfen, mit einem Modul im Bereich von 1 bis 2,5 cm wird dagegen ein bezogen auf die von diesen Bauteilen geforderten Eigenschaften optimiertes Kornwachstum erreicht, wenn der O<sub>2</sub>-Gehalt der erfindungsgemäßen Legierung im Bereich von 30 bis 50 ppm liegt.

Besonders sicher lassen sich die hohen Zugfestigkeiten eines erfindungsgemäßen Gusswerkstoffs dadurch gewährleisten, dass im erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff im vergossenen Zustand mehr als 50 % des in ihm enthaltenen Sauerstoffs in einer Oxidart vorliegen, deren Starttemperatur der Reduktion mit Sauerstoff über 1.700 K liegt.

Neben der verbesserten Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Zähigkeit und Zerspanbarkeit weist erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff auch eine gute Korrosionsbeständigkeit auf. Aufgrund dieser speziellen Eigenschaftskombination eignet sich erfindungsgemäßer Eisengusswerkstoff in besonderer Weise zur Herstellung Bremsscheiben sowie von Motorblöcken oder Zylinderköpfen für Verbrennungskraftmaschinen. Insbesondere die hohen Zugfestigkeiten in Kombination mit der guten Vergießbarkeit, Zerspanbarkeit und hohen Wärmeleitfähigkeit machen den erfindungsgemäßen Werkstoff dazu in besonderer Weise geeignet, als Werkstoff für die Herstellung von Blöcken für moderne Dieselmotoren eingesetzt zu werden, bei denen es im Zuge des Verbrennungsprozesses zu extrem hohen Druckbelastungen im Bereich des Verbrennungsraumes kommt.

Die Eigenschaften von erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoff wurden an einer Vielzahl von Beispielen nachgewiesen.

So sind aus erfindungsgemäßen Eisengusslegierungen mit den in Tabelle 1a in Gew.-% angegebenen Zusammensetzungen B1 - B7 LKW-Bremsscheiben gegossen worden, deren Sc-Wert, %MEG-Wert, Zugfestigkeit  $R_m$  und Brinell-Härte HB in Tabelle 1b angegeben sind. Tabelle 1b enthält zusätzlich eine Bewertung des Gefüges der jeweils erhaltenen Produkte.

Es zeigt sich, dass die aus den in Tabelle 1a angegebenen Legierungen gegossenen LKW-Bremsscheiben durchweg Zugfestigkeiten im Bereich von 160 bis 230 MPa besitzen. Die Härte-Werte liegen dabei im Bereich von 147 bis 220, so dass die Bremsscheiben nicht nur hohe Festigkeiten, sondern auch eine gute Verschleißbeständigkeit besitzen. Des Weiteren weisen sie eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit

auf, so dass sie auch unter hohen Belastungen die auf sie einwirkenden Kräfte sicher aufnehmen und abführen können.

In Tabelle 2a sind die Gehalte an C, Si, S, Mn, Cu, V, Mo, Sn und Ni für Legierungen D1 - D5 von erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoffen angegeben, aus denen dünnwandige PKW-Motorblöcke mit einem 0,7 - 0,8 cm betragenden Modul gegossen worden sind. Zusätzlich enthielten die betreffenden Legierungen D1 - D6 jeweils 60 Gew.-ppm O<sub>2</sub> und 0,01 Gew.-% La. Tabelle 2b enthält die zugehörigen Werte %MEG, SC, die Zugfestigkeit R<sub>m</sub> und die jeweils über verschiedene Messorte gemittelte Brinellhärte HB sowie eine Bewertung des Gefüges.

In Tabelle 3a sind die Gehalte an C, Si, S, Mn, Cu, V, Mo, Sn und Ni für Legierungen Z1 - Z6 von erfindungsgemäßen Eisengusswerkstoffen angegeben, aus denen 100 kg (Legierungen Z1 - Z4) bzw. 400 kg (Legierungen Z5, Z6) schwere Zylinderköpfe gegossen worden sind. Der Modul der 100 kg-Zylinderköpfe lag zwischen 2,5 - 3 cm, während der Modul der 400 kg schweren Zylinderköpfe bei 1 cm lag. Zusätzlich enthielten die betreffenden Legierungen Z1 - Z6 jeweils 40 Gew.-ppm O<sub>2</sub> und 0,01 Gew.-% La. Tabelle 3b enthält die zugehörigen Werte %MEG und SC, die Zugfestigkeit R<sub>m</sub> und die Brinellhärte HB sowie eine Bewertung des Gefüges.

Schließlich ist aus einer (in Gew.-%) 3,6 % C, 1,35 % Si, 0,1 % Sn, 0,5 % Mn, 0,5 % Cu, 0,01 % V, 0,2 % Mo, 40 Gew.-ppm O<sub>2</sub> und 0,03 % S sowie als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen bestehenden erfindungsgemäßen Eisengusslegierung ein schweres Kurbelgehäuse gegossen worden. Der SC-Wert der Legierung betrug 0,93 und ihr %MEG-Wert 1,98. Das fertige Gehäuse wies eine Zugfestigkeit R<sub>m</sub>

von 320 MPa und ein feinstrukturiertes perlitisches Gefüge auf.

Mit der Erfindung steht somit ein Eisengusswerkstoff zur Verfügung, der ein überlegenes Eigenschaftsspektrum besitzt, das über einen weiten Bereich variiert werden kann. Dabei zeichnet sich der erfindungsgemäße Werkstoff durch eine besonders gute Zerspanbarkeit aus. Seine hohe Zugfestigkeit ermöglicht es, bekannte Gusskonstruktionen, die bisher nur aus konventionellem Grauguss hergestellt worden sind, mit höheren Festigkeiten zu erzeugen, ohne dass dazu aufwändige Umkonstruktionen erforderlich sind.

	C	Si	S	Mn	Cu	V	Mo	O <sub>2</sub>	La	Sn
B1	3,90	0,97	0,050	0,48	0,52	0,091	0,43	0,0035	0,01	
B2	3,96	1,02	0,028	0,52	0,51	0,088	0,47	0,0035	0,01	
B3	3,95	1,14	0,037	0,53	0,54	0,093	0,40	0,0035	0,01	
B4	4,07	1,08	0,043	0,48	0,48	0,083	0,02	0,0035	0,01	
B5	4,09	1,22	0,027	0,47	0,50	0,098	0,41	0,0035	0,01	
B6	3,99	0,95	0,020	0,52	0,56	0,006	0,27	0,0035	0,01	
B7	3,94	1,05	0,026	0,55	0,60	0,005	0,29	0,0035	0,01	0,10

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 1a

	SC	%MEG	Rm	HB	Gefüge
B1	0,98	2,056	191,0	207	feinstrukturierter Perlit, Carbide < 1%
B2	1,00	2,046	207,3	210	feinstrukturierter Perlit
B3	1,01	2,022	231,2	201	feinstrukturierter Perlit, Carbide < 1%
B4	1,03	2,034	172,1	186	feinstrukturierter Perlit
B5	1,05	2,006	143,9	171	feinstrukturierter Perlit, Mitte Ferrit
B6	1,00	2,060	162,5	147	feinstrukturierter Perlit
B7	1,00	2,040	185,2	173	feinstrukturierter Perlit, Carbide < 1%

Tabelle 1b

	C	Si	S	Mn	Cu	V	Mo	Sn	Ni
D1	3,67	1,24	0,026	0,57	0,69	0,005	0,30	0,09	0,63
D2	3,60	1,20	0,031	0,48	0,50	0,044	0,19	0,01	
D3	3,60	1,21	0,026	0,48	0,49	0,044	0,19	0,01	
D4	3,48	1,22	0,038	0,48	0,51	0,045	0,19	0,01	
D5	3,52	1,34	0,037	0,52	0,46	0,043	0,20	0,01	

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 2a

	SC	%MEG	Rm	HB	Gefüge
D1	0,943	2,002	224,9	222	feinstrukturierter Perlit
D2	0,923	2,010	252	222	feinstrukturierter Perlit
D3	0,923	2,008	244,7	185	feinstrukturierter Perlit
D4	0,893	2,006	290,4	189	feinstrukturierter Perlit
D5	0,912	1,982	277,3	201	feinstrukturierter Perlit

Tabelle 2b

	C	Si	S	Mn	Cu	V	Mo	Sn	Ni
Z1	3,45	1,16	0,023	0,53	0,60	0,045	0,34		
Z2	3,56	1,18	0,010	0,51	0,66	0,005	0,19		
Z3	3,53	1,09	0,028	0,54	0,52	0,036	0,29		
Z4	3,57	1,23	0,024	0,60	0,56	0,045	0,29	0,10	
Z5	3,51	1,19	0,027	0,57	0,59	0,039	0,30		
Z6	3,38	1,12	0,025	0,57	0,68	0,049	0,31		0,65

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 3a

	SC	%MEG	Rm	HB	Gefüge
Z1	2,018	0,88	350,0	229	feinstrukturierter Perlit
Z2	2,014	0,91	237,1	186	feinstrukturierter Perlit
Z3	2,032	0,90	210,0	187	feinstrukturierter Perlit
Z4	2,004	0,92	281,5	215	feinstrukturierter Perlit
Z5	2,012	0,90	295,3	195	feinstrukturierter Perlit
Z6	2,026	0,86	313,2	205	feinstrukturierter Perlit

Tabelle 3b



## PATENTANSPRÜCHE

1. Eisengusswerkstoff mit Lamellengraphit, mit folgender Zusammensetzung (in Gew.-%):

C: 3,4 - 4,1 %,

Si: 0,9 - 1,4 %,

Mn: 0,4 - 0,7 %,

Cu: 0,4 - 0,6 %,

S: 0,01 - 0,04 %,

O<sub>2</sub>: 0,003 - 0,007 %,

P: ≤ 0,04 %,

Rest aus Fe und unvermeidbare Verunreinigungen,

wobei die Zusammensetzung zusätzlich wahlweise eines oder mehrere der folgenden Elemente enthalten kann:

Mo: 0,15 - 0,45 %,

La: 0,005 - 0,02 %,

Sr: 0,0005 - 0,01 %,

Ni: 0,05 - 0,8 %,

V: 0,005 - 0,1 %,

Sn: 0,05 - 0,15 %,

N: 0,05 - 0,08 %,

Ce: 0,01 - 0,02 %

und für den Sättigungsgrad  $S_c = C\% / 4,26 - 0,3 * (Si\% + P\%)$

(C%: jeweiliger C-Gehalt, Si%: jeweiliger Si-Gehalt,

P%: jeweiliger P-Gehalt) gilt  $0,85 \% \leq S_c \leq 1,05 \%$

sowie für die jeweilige Menge  $\%MEG = 2,25 \% - 0,2 Si\%$

(Si%: jeweiliger Si-Gehalt) gilt  $1,97 \% \leq MEG \leq 2,07 \%$ .

2. Eisengusswerkstoff nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der C-Gehalt  
3,8 - 4,1 Gew.-% beträgt.
3. Eisengusswerkstoff nach Anspruch 2, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der Si-Gehalt  
0,9 - 1,2 Gew.-% beträgt.
4. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
der O<sub>2</sub>-Gehalt 0,003 - 0,004 Gew.-% beträgt.
5. Eisengusswerkstoff nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der C-Gehalt  
3,4 - 3,6 Gew.-% beträgt.
6. Eisengusswerkstoff nach Anspruch 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der Si-Gehalt  
1,15 - 1,4 Gew.-% beträgt.
7. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 oder 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
der Sr-Gehalt 0,005 - 0,002 Gew.-% beträgt.
8. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 bis 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
der V-Gehalt 0,025 - 0,045 Gew.-% beträgt.

9. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 bis 8  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Sn-Gehalt 0,05 - 0,15 Gew.-% beträgt.
10. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Si-Gehalt 1,15 - 1,25 Gew.-% beträgt.
11. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der O<sub>2</sub>-Gehalt 0,003 - 0,005 Gew.-% beträgt.
12. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der O<sub>2</sub>-Gehalt 0,004 - 0,006 Gew.-% beträgt.
13. Eisengusswerkstoff nach einem der Ansprüche 5 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der O<sub>2</sub>-Gehalt 0,005 - 0,007 Gew.-% beträgt.
14. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
dass der S-Gehalt mindestens 0,02 Gew.-% beträgt.
15. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Mo-Gehalt 0,2 - 0,4 Gew.-% beträgt.

16. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der Mn-Gehalt 0,45 - 0,65 Gew.-% beträgt.
17. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der Cu-Gehalt 0,45 - 0,55 Gew.-% beträgt.
18. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s sein Sr-Gehalt mindestens 0,05 Gew.-% beträgt.
19. Eisengusswerkstoff nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s im vergossenen Zustand mehr als 50 % des in ihm enthaltenen Sauerstoffs in einer Oxidart vorliegen, deren Starttemperatur der Reduktion mit Sauerstoff über 1.700 K liegt.